УДК 004.7

В.О. Остапенко
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України, Україна
пр. Академіка Глушкова, 40, м. Київ, 03187

МЕТОДИ ОЦІНКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ БЕЗДРОТОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ МОНІТОРИНГУ СТАНУ РОСЛИН

V.O. Ostapenko
V.M. Hlushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine
40, Academician Hlushkov av., Kyiv, 03187

METHODS OF ASSESSMENT OF FUNCTIONAL SAFETY WIRELESS SENSOR NETWORK OF PLANT CONDITION

У статті розкривається актуальна проблема оцінки функціональної безпеки бездротових сенсорних мереж, які обумовлені низькими показниками, як з точки зору гарантованості доставки даних за обмежений час, так і з точки зору захисту інформації. Розглядаються методи оцінки функціональної безпеки в автоматизованих системах моніторингу стану розподілених об’єктів медико-екологічних комплексів, а саме моніторингу стану рослин. Актуальність проблеми оцінювання апаратно-програмних комплексів з точки зору функціональної безпеки відзначається складністю програмного забезпечення і необхідністю використання даних комплексів в польових умовах.

Ключові слова: бездротові сенсорні мережі, функціональна надійність, моніторинг стану рослин.

The article reveals the current problem of evaluating the functional safety of wireless sensor networks, which are due to low performance, both in terms of guaranteeing transfer of data for a limited time, and in terms of information security. The methods of evaluation of functional safety in automated monitoring systems of distributed objects of medical-ecological complexes, namely, the monitoring of plant condition are considered. The urgency of the problem of evaluating hardware and software complexes in terms of functional security is the complexity of software and the need to use these complexes in field conditions.

Keywords: wireless sensor networks, functional reliability, monitoring of plant condition.

Вступ

Системи автоматичного та автоматизованого моніторингу стану об’єктів на сьогодні набули найпоширенішого вжитку і використовуються практично у всіх сферах життєдіяльності людини, як у виробничих масштабах (моніторинг стану об’єктів виробництва, віддалений контроль за процесами транспортування, зберігання та використання різноманітних ресурсів), так і в побутовому спектрі (системи моніторингу приміщень, автоматичні системи сигналізації та обліку показників лічильників). Зазвичай, питання розвитку та стандартизації подібних систем розглядаються в межах наукових направлень телеметрія та датчикові мережі. Однак, не дивлячись на довгу історію розвитку і впровадження мереж сенсорів [1], до сих пір відсутня універсальна концепція побудови сенсорних мереж, не визначені програмно-апаратні (платформенні рішення), відсутні методи оцінки надійності та безпечності систем. Таким чином реалізація сенсорних мереж залежить тільки від вимог задачі, а не від стандартів чи наукових підходів.

Постановка проблеми

Оцінка надійності та безпечності сенсорних мереж взагалі і бездротових сенсорних мереж, як окремого випадку, на даний момент не має єдиної парадигми і кожен розробник визначає власні підходи та критерії оцінювання.

Одним з можливих підходів може бути метод визначення функціональної безпеки, який використовує як оцінку кожного елемента системи, так і системи в цілому за її функціями.

Згідно з положеннями IEC 61508 [2], під функціональної безпекою (functional safety) мається на увазі коректне функціонування, як системи управління, так і керованого нею обладнання. Таким чином, для забезпечення функціональної безпеки необхідно спочатку визначити функції безпеки (safety functions), необхідні для зниження ризику керованого обладнання, а також для досягнення і збереження цим обладнанням безпечного стану. Також система управління повинна мати властивість так званої повноти безпеки (safety integrity), під яким IEC 61508 припускає можливість того, що система буде коректно виконувати функції безпеки при всіх заданих умовах протягом заданого інтервалу часу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Основні положення щодо методів оцінки функціональної безпеки викладено в стандарті IEC 61508 [2], який описує та регламентує підходи до визначення надійності та безпечності електричних, електронних та програмних систем. Цей стандарт включає 7 розділів (рис. 1), які займають приблизно 600 аркушів [2].

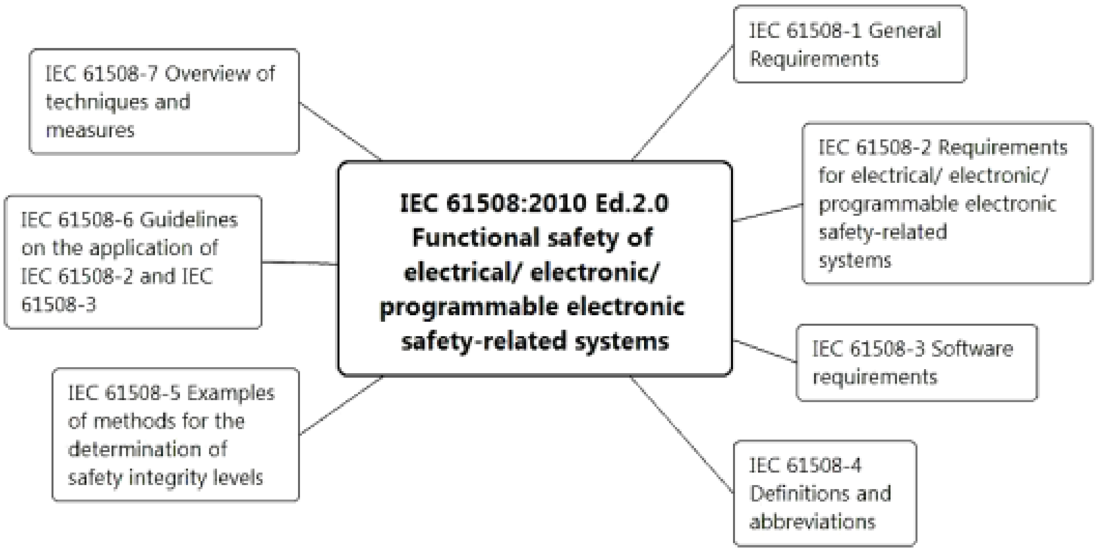


Рис. 1. Структура стандарту IEC 61508

На основі даного стандартну було написано багато монографій та статей, але практично всі розглядають окремі реалізації використання стандарту IEC 61508 до власних розроблених систем.

Мета дослідження

Основною метою даного дослідження, яке розкриває методи використання принципів оцінки функціональної безпеки для систем моніторингу стану рослин, є подальша сертифікація та ліцензування діючої системи [3, 4]. З точки зору стандарту IEC 61508 комп’ютерні системи управління та моніторингу повинні виконувати функції безпеки і володіти певними характеристиками (резервування, відмовостійкість, самодіагностика, стійкість до зовнішніх екстремальних впливів, тощо). У відповідності до IEC 61508 при забезпеченні повноти безпеки (safety integrity) враховуються два типи відмов: випадкові (random failures) і систематичні (systematic failures).

Саме тому необхідно провести низку наукових досліджень для визначення основних критеріїв в оцінці функціональної безпеки системи моніторингу стану рослин.

Підхід до функціональної безпеки в системах моніторингу рослин

Поняття функціональної безпеки притаманне в більшій мірі системам управління. Контроль або моніторинг може бути винесений до окремого виду систем керування (збирання даних з формуванням керуючої дії у випадках виявлення критичних станів системи).

В загальному вигляді в контурах таких систем маємо наступні елементи: керований процес, датчик, контролер і виконавчий механізм (актуатор) (рис. 2). Необов'язковою з точки зору управління, але, тим не менш, невід'ємною частиною сьогоднішніх систем управління є людино-машинний інтерфейс і обробники даних, отриманих в результаті моніторингу.

Подібна архітектура реалізується для вбудованих систем (Embedded Systems), широко застосовуваних у промисловій автоматизації, побутових пристроях, автомобільних системах, медичних пристроях, комунікаційних мережах, роботах, дронах і т.п.

Найбільш складною є типова архітектура IoT (рис. 3), до яких можна віднести бездротові сенсорні мережі для моніторингу стану рослин.

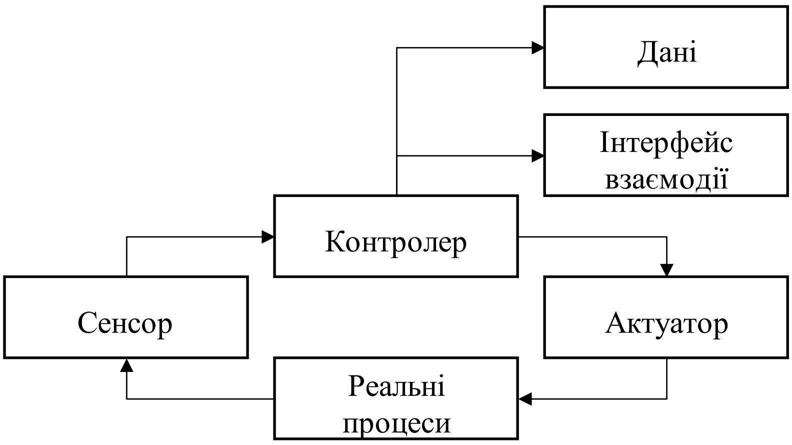


Рис. 2. Представлення загального контуру системи моніторингу

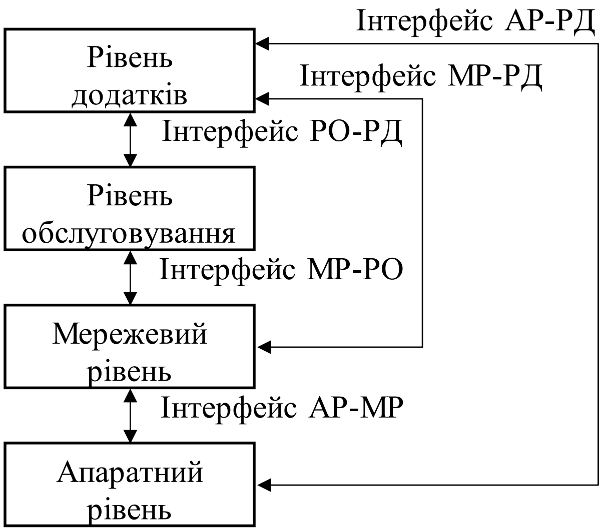


Рис. 3. Типова архітектура систем IoT

Керуюча система реалізується на апаратному рівні (АР). Її програмно-апаратна реалізація може бути аналогічна вбудованій системі. З точки зору інформаційної безпеки критичними є інтерфейси АР-МР та АР-РД доступу до апаратного рівня.

Аналіз обсягу вхідних даних в сенсорних мережах контролю стану рослин

У загальному випадку будь-яку мережу датчиків (сенсорів) можна представити трьома контурами, кожен з яких відповідає за власну задачу (рис. 4):

1) контур збору інформації про стан об’єкту – збір вимірювальної інформації від різних джерел (датчиків) об'єкта (ів);
2) контур передачі інформації – передача інформації з об'єкта (ів) на пункт прийому або моніторингу та управління;
3) контур обробки інформації – обробка прийнятої інформації, реєстрація та її візуалізація.

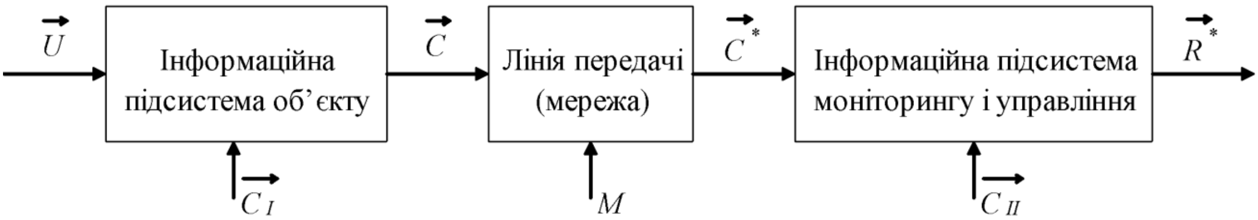


Рис. 4. Загальна структура датчикової мережі

На рис. 4 представлені наступні позначки:

- $\vec{U} = [U_1(t), U_2(t), \ldots, U_N(t)]$ – вектор первинних сигналів (випадкові величини), які пов'язані з перетворювачами інформації та надходять на вхід телеметричної системи;
- $\vec{C} = [C_1(t), C_2(t), \ldots, C_K(t)]$ – сигнали (повідомлення), що формуються на виході інформаційної підсистеми об’єкта, які подаються на вхід лінії передачі;
- $\vec{C}_I$, $\vec{C}_{II}$ – додаткові сигнали (повідомлення), які встановлюють режими роботи в інформаційних підсистемах; Сигнали надходять по командної лінії від інформаційної підсистеми моніторингу та управління;
- M – перешкоди та шуми, які спотворюють сигнали на виході лінії передачі;
- $\vec{C}^*$ – сигнали (повідомлення) на виході лінії передачі;
- $\vec{R} = [R_1(t), R_2(t), \ldots, R_O(t)]$ – результати вимірювання.

Реалізація, а відповідно, і оцінка функціональної безпеки кожного з контурів передбачає свої правила та закони реалізації. В залежності від типу розв’язуваних задач та умов використання системи кожен з контурів може реалізовуватись за власними правилами та алгоритмами, які можуть розглядатись як в комплексі, так і окремо.

З огляду на можливий вплив параметрів контролю та правил їх вимірювання на вимоги до контуру передачі інформації (рис. 4), є необхідність у всебічному аналізі переліку достатніх показників для реалізації оцінки стану рослин методом ІФХ.

Під час дослідження було проведено експерименти для визначення зміни індукції флуоресценції хлорофілу під впливом різноманітних стресових факторів та оцінка впливу зовнішніх факторів на точність вимірювань та роботу сенсорної мережі в цілому. Одним із способів аналізу є використання класичних параметрів ІФХ F_0, F_m, F_s та їх відношень.

На основі робіт [3, 4, 5, 6, 7, 8] визначено наступний перелік показників, які необхідно отримувати від сенсорів на рослинах для проведення оцінки ІФХ:

F_0 – початкове значення індукції флуоресценції після включення опромінення;

F_p – значення індукції флуоресценції «плато»;

F_m – максимальне значення індукції флуоресценції;

F_{st} – стаціонарне значення індукції флуоресценції після світлової адаптації листа рослини.

Як приклад, можна представити криві Каутського для люцерни, отримані на основі перелічених показників флуорометром «Флоратест» під час дослідного експерименту в КНУ ім. Т. Шевченка з вивчення нових добрив [7] після їх додаткової обробки (рис. 5).

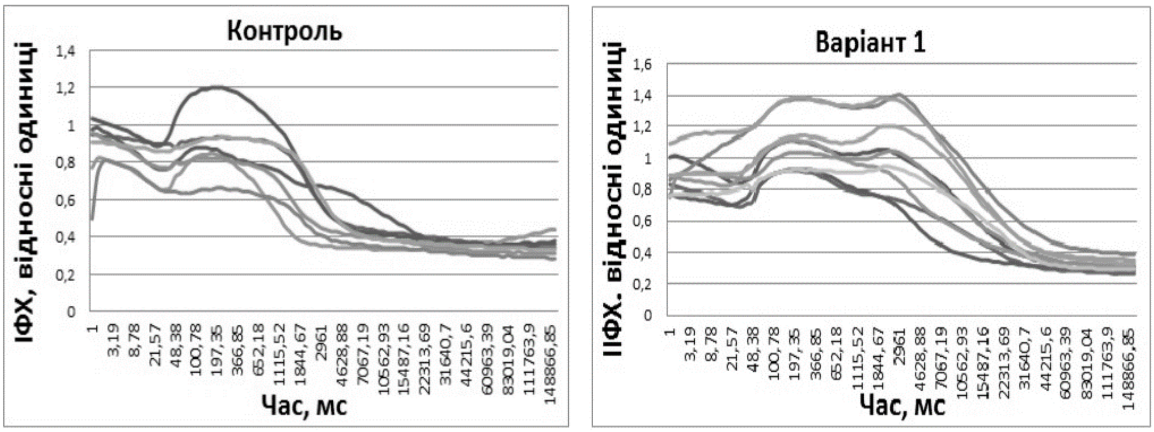


Рис. 5. Приклад кривих Каутського для дослідження стану рослин після підживлення

Однак, частіше результати не настільки очевидні, що потребує додаткового накопичення вхідних даних і їх обробки. Так на рис. 6 показано криві Каутського, які отримані при дослідженні стану каштанів на території Києва [7].

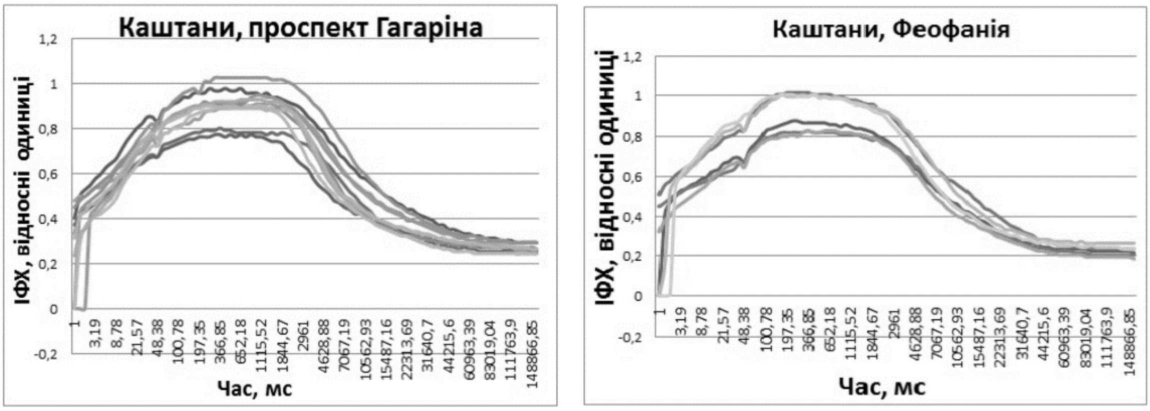


Рис. 6. Приклад кривих Каутського з недостатнім обсягом вхідних даних для аналізу

Деякі задачі чи об’єкти можуть вимагати отримання великої кількості вимірювань (більше 20 вимірювань для кожного зразка, що досліджується), що у польових умовах без використання додаткових автоматизованих засобів є кропіткою задачею, яку в окремих випадках взагалі неможливо реалізувати (ІФХ залежить від

зміни зовнішніх умов, необхідні часові витрати перевищують економічний ефект). Розроблена сенсорна мережа справляється з даною задачею.

Розробка загальних технічних вимог до бездротової сенсорної мережі та окремих її вузлів

Типова сенсорна мережа з точку зору функціональної безпеки повинна відповідати більшості вимог, які пред'являються прецизійним землеробством та екологічним моніторингом до БСМ. Ці вимоги враховують показники відмовостійкості, масштабування, витрати на виробництво, вид операційного середовища, топологію сенсорної мережі, апаратні обмеження, модель передачі даних та споживчу потужність.

Так, наприклад, деякі вузли можуть вийти з ладу із-за збоїв енергопостачання, фізичних пошкоджень або стороннього втручання. Але відмова одного вузла мережі не повинна впливати на роботу усієї БСМ, яка повинна задовольняти вимогам відмовостійкості. Слід звернути увагу на те, що відмовостійкість мережі можна забезпечити шляхом правильного застосування чи розробки відповідних протоколів передачі даних або алгоритмів функціонування. Оскільки створювана БСМ призначається для роботи в умовах суттєвого впливу кліматичних умов, її відмовостійкість повинні бути досить високою.

Масштабування розроблюваної сенсорної мережі для кожної прикладної задачі обмежується кількістю вузлів від кількох десятків до кількох тисяч вузлів, причому вартість одного вузла повинна бути такої, щоб виправдати загальну вартість мережі. Саме тому, вартість одного вузла повинна бути мінімально можливою.

Схеми початкового розгортання повинні відповідати наступним вимогам:

- зменшувати витрати на монтаж;
- усувати необхідність будь-якої попередньої організації і планування;
- підвищувати гнучкість розташування;
- сприяти самоорганізації та відмовостійкості.

Оскільки вузли мережі часто відмовляють із-за розряджання батареї або впливу фізичних факторів, тому структурі БСМ притаманні часті зміни топології після розгортання самої мережі. Зміна топології зумовлює зміну характеристик самих вузлів, а саме: положення, доступність (із-за завад, шумів, рухомих перешкод и т.д.), рівень заряду батареї, неполадки, зміна поставлених задач або ролі в мережі.

Повинна бути передбачена можливість включення в БСМ резервних вузлів для заміни несправних вузлів або у зв'язку з розширенням мережі та відповідних її функцій.

Перш за все, виділимо характеристики БСМ для конкретної прикладної задачі:

- кількість вузлів може бути на порядок вище, ніж у традиційній розподіленій мережі збору і обробки даних;
- вузли можуть розташовуватися дуже щільно;
- можуть відбуватися збої в роботі вузлів під впливом факторів природного чи техногенного походження;
- топологія мережі може змінюватися випадковим чином;
- вузли, як правило, обмежені в енергоспоживанні, обчислювальних можливостях, обсязі пам'яті;
- вузли не можуть мати глобальних ідентифікаційних номерів із-за значних додаткових витрат та порівняно великої кількості вузлів.

Безпровідний вузол є мікроелектронним пристроєм з батарейним живленням, яке має обмежений ресурс. Відповідно, час функціонування вузла напряму залежить

від ресурсу батарейного живлення. Основними задачами вузла є виявлення подій, виконання швидкої локальної обробки даних, передача даних. Відповідно, енергія споживається на цих трьох етапах. Періодичний збір даних потребує меншого енергоспоживання енергії, ніж постійний моніторинг.

Моделювання БСМ в OMNeT++ і Castalia відбувається в автоматичному режимі згідно заданих алгоритмів функціонування мережі, кількості та розташування вузлів, правил мобільності, коефіцієнтів послаблення сигналу та можливих перешкод на шляху сигналу, часу моделювання тощо.

Розроблювана бездротова сенсорна мережа працює на базі стандарту 802.15.4 (2,4 ГГц) і містить в своєму складі малопотужні бездротові вузли зі змінною потужністю передачі від 2,5 до 0 dBm та чутливістю приймання -95 dBm. Швидкість передавання даних складає 250 кбіт/с. При цьому енергоспоживання вузла складає 60 мВт.

Перш за все було здійснено розрахунок залежності потужності радіосигналу від відстані, яку він подолав у вільному середовищі без завад і перешкод з використанням формули (1).

$$P_r = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_t \cdot G_r \cdot G_t \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2} \cdot 10^3\right), \qquad (1)$$

де P_r – потужність радіосигналу на певній відстані від його передавача, dBm; P_t – потужність передавача радіосигналу, dBm; G_r – коефіцієнта підсилення приймача; G_t – коефіцієнт підсилення передавача; λ – коефіцієнт, який враховує частоту сигналу, визначається за формулою (2); d – відстань між передавачем і точкою приймання сигналу, м. Коефіцієнти підсилення передавача і приймача в умовах нашої прикладної задачі рівні 1.

$$\lambda = \frac{c}{f}\lambda = \frac{c}{f}, \qquad (2)$$

де c – швидкість світла, м/с; f – частота сигналу, Гц.

Звичайно в умовах реального оточення, наприклад на сільськогосподарських угіддях або територіях з рослинністю, радіосигнал буде послаблюватися значно сильніше ніж при повному відсутності перешкод і завад. Тобто відстань між передавачем і приймачем повинна бути значно менша для встановлення зв'язку відповідної якості. Для такого випадку використовують коефіцієнт послаблення радіохвиль для різних умов розповсюдження, який часто позначають символом n. Як правило, для середовища без перешкод і завад цей коефіцієнт, рівний 2. Максимальне значення цього коефіцієнту може сягати 6, наприклад для щільних міських забудов. Також в літературі зустрічається залежність між потужністю сигналу та відстанню, яку він пройшов, з врахуванням коефіцієнту послаблення n [7, 8]. Послаблення сигналу прямо пропорційне d^n. З врахуванням вище зазначеного і того, що коефіцієнт n для нашої прикладної задачі, а саме сільськогосподарських угідь, буде рівним 3, формулу (1) можна привести в наступний вигляд (3) для приблизного врахування впливу реального середовища на розповсюдження хвиль.

$$P_r = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_t \cdot G_r \cdot G_t \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^3} \cdot 10^3\right) P_r = 10 \cdot lg\left(\frac{P_t \cdot G_r \cdot G_t \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^3} \cdot 10^3\right). \qquad (3)$$

Отримані за формулами (1) і (3) залежності в графічній формі наведені на рис. 8. Як видно з рисунку, сигнал у вільному середовищі послаблюється до рівня чутливості приймача (-95 dBm) на відстані 300 метрів. Звичайно, ослаблення сигналу

до такого рівня в реальних умовах, особливо в умовах сільськогосподарських угідь, відбудеться значно ближче, а саме на відстані близько 45 метрів.

Надалі для порівняння з вище наведеними розрахунками та визначення відстані, на якій встановлюється стабільний зв'язок, в системах OMNeT++ і Castalia проведено моделювання якості зв'язку між вузлами, які рівномірно покривають територію певної площі. Оскільки вузли є малопотужними, то досліджувані ділянки являли собою квадрати зі сторонами від 30 до 175 метрів, тобто площею від 9 арів до 3 гектарів. На вказаних площах було проведено моделювання роботи трьох мереж з 9, 16 і 25 вузлами. Вузли розташовувалися приблизно на рівній відстані квадратами 3*3, 4*4 і 5*5 вузлів відповідно. Час моделювання складав 100 секунд, протягом яких кожний вузол передавав 100 повідомлень. Потужності передачі вузлів складали 2,5 і 0 dBm.

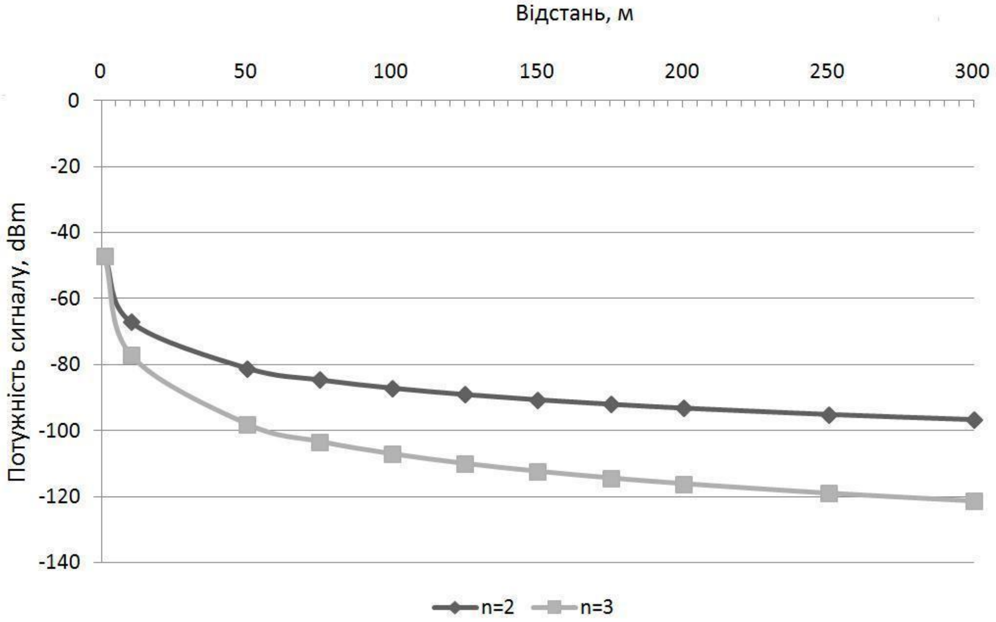


Рис. 8. Залежність потужності радіосигналу від подоланої відстані

Спочатку розраховувалася якість зв'язку між окремими вузлами як відношення отриманих повідомлень до переданих. Потім на основі окремих значень якості зв'язку розраховувалося інтегральне значення якості зв'язку мережі. Слід розуміти, що інтегральне значення якості зв'язку мережі є узагальненим показником і розраховується на основі показників якості зв'язку встановлених бездротових каналів між вузлами.

Розробка вимог до окремих вузлів сенсорної мережі

Перш за все, слід проаналізувати та розробити перелік основних функцій найпростішого елемента розроблюваної бездротової сенсорної мережі, а саме вимірювального вузла. Саме його функціональність буде в певній мірі визначати функції елементів вищого рівня мережі: координатора та концентратора. Детальний аналіз вимог до мережі та очікувань користувачів дозволили сформувати перелік основних функцій вузла (кліпси) – вимірювального елементу мережі (функції розділені на групи в рамках підпрограм – менеджерів):

1) Менеджер пам'яті

1.1) моніторинг вільної пам'яті;

1.2) розрахунок кількості вимірювань, які помістяться в пам'ять при поточному профілі вимірювання;

1.3) очищення пам'яті (або стирання конкретного вимірювання) при успішній передачі виміряних даних;

1.4) очищення пам'яті без передачі даних;

1.5) формування аварійного повідомлення про проблеми (нестачу) пам'яті.

2) Опрацювання керуючих команд від координатора

2.1) отримання поточного профілю вимірювання;

2.2) отримання поточного режиму вимірювання;

2.3) початок вимірювання і передачу виміряних даних;

2.4) початок вимірювання і збереження виміряних даних;

2.5) самодіагностика (та самокалібрування) вузла;

2.6) запит інформації про статус (вільна пам'ять, рівень заряду і т.д.);

2.7) формування аварійного повідомлення про неправильний формат команди;

3) Менеджер вимірювання

3.1) керування процесом вимірювання (фіксація часу початку і кінця вимірювання, баланс синього, включення світлодіодів, отримання інформації від фотодетктора і т.д.);

3.2) розрахунок таблиці вимірювання відповідно до профілю вимірювання (згідно формули);

3.3) формування аварійного повідомлення про зупинку вимірювання або про спотворення вимірювання (кількість отриманих даних відрізняється від розрахованої згідно профілю вимірювання);

4) Менеджер формування повідомлень координатору

4.1) формування повідомлення з усіма вимірами (або конкретним);

4.2) формування повідомлення про статус (вільна пам'ять, рівень заряду і т.д.);

4.3) формування аварійного повідомлення координатору;

5) Менеджер заряду батареї

5.1) оцінка рівня заряду батареї;

5.2) розрахунок приблизного часу автономної роботи при поточному профілі та режимі вимірювання;

5.3) оцінка часу зарядки батареї до максимального рівня;

5.4) формування аварійного повідомлення про низький заряд батареї;

5.5) перехід в енергозберігаючий режим при низькому заряді батареї та відсутності сигналу від координатора;

6) Менеджер аварійних ситуацій

6.1) моніторинг появи аварійних повідомлень;

6.2) аналіз аварійного повідомлення згідно заданих критеріїв (важливе, неважливе);

6.3) формування локального аварійного повідомлення (напр., світлодіод);

7) Менеджер зберігання в пам'яті

7.1) профіль вимірювання;

7.2) режим вимірювання;

7.3) дані вимірювань;

7.4) номер координатора;

7.5) транзитна таблиця маршрутів – при організації деревоподібної топології мережі;

8) Рівень протоколу

8.1) формування пакетів для передачі даних координатору;

8.2) передача пакетів координатору;

8.3) отримання повідомлення від координатора про успішну передачу пакетів;

8.4) отримання керуючих команд від координатора;

8.5) формування повідомлення про успішне отримання керуючих команд координатора;

8.6) організація транзитного каналу згідно таблицею маршрутизації – при організації деревоподібної топології мережі;

9) Інтерфейс з координатором

9.1) отримання наперед визначених керуючих команд (формат – DOITxxxx, де x – цифра, xxxx – номер наперед визначеної команди);

9.2) отримання даних профілю вимірювання (формат – PROFxxxx, де x – цифра; xxxx відповідає часу вимірювання в секундах);

9.3) отримання даних режиму вимірювання;

9.4) передача даних вимірювання (перше повідомлення містить кількість вимірювань, що передаються, і кількість точок кожного запису; друге повідомлення містить масив у вигляді номер вимірювання, дата вимірювання, час вимірювання, кількість точок вимірювання, x1–xN – значення точок вимірювання);

9.5) передача даних статусу (формат – STATxxxxbbbbcccc, де xxxx, bbbb, cccc – відповідають статусу батареї, пам'яті і т.д.);

9.6) передача аварійних повідомлень (формат – ERROxxxx, де x – цифра; xxxx відповідає певній аварійній ситуації);

9.7) передача пакетів від інших вузлів мережі (на протокольному рівні) – при організації деревоподібної топології мережі.

Висновки

В Інституті кібернетики НАН України доведена до серійного виробництва бездротова сенсорна мережа для моніторингу стану рослин, яка працює на основі методу індукції флуоресценції хлорофілу. Виконана на базі безпровідних інтелектуальних сенсорів сенсорна мережа здатна оцінювати стан рослин на великих територіях. Площа покриття мережі може складати від декількох квадратних метрів до декількох квадратних кілометрів.

Для досягнення відповідності даної системи моніторингу стандарту IEC 61508 було проаналізовано складові елементи даної системи, вхідні данні, окремі фактори, що впливають на роботу даної системи та на основі даного аналізу виставлено вимоги до елементів системи моніторингу за станом рослин. На основі даного аналізу було виставлено вимоги до функціональної безпеки вимірювального вузла сенсорної бездротової мережі. Саме його функціональність певною мірою визначає функції елементів вищого рівня мережі: координатора та концентратора.

Детальний аналіз вимог до мережі та очікувань користувачів дозволили сформувати перелік основних функцій вузла (кліпси) – вимірювального елементу мережі, які розділені на групи в рамках підпрограм – менеджерів: менеджер пам'яті, опрацювання керуючих команд від координатора, менеджер вимірювання, менеджер формування повідомлень координатору, менеджер заряду батареї, менеджер аварійних ситуацій, менеджер зберігання в пам'яті, рівень протоколу, інтерфейси з координатором.

Впровадження у системи захисту довкілля або у промислове сільське господарство нової інформаційної технології дозволить у реальному часі визначити стан рослин, які потерпають від дії того чи іншого стресового фактору і виробити відповідне управлінське рішення для компенсації дії визначеного фактору.

Література

1. Рагозин Д.В. Моделирование синхронизированных сенсорных сетей // Проблеми програмування. – 2008. – № 2-3. Спеціальний випуск – 721-729 с.
2. IEC 61508:2010 Commented version, Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems. – Geneva: International Electrotechnical Commission. – 2010.
3. Romanov V., Artemenko D., Brayko Yu., Galelyuka I., Imamutdinova R., Kytayev O., Palagin O., Sarakhan Ye., Starodub M., Fedak V. Portable Biosensor: from Idea to Market. International Journal "Information Theories & Applications". Vol. 19, Number 2. Sofia, Bulgaria. 2012. P. 126–131.
4. Romanov V., Galelyuka I., Hrusha V., Sarakhan Ye. Biosensor for Express-Diagnostics of Plant States // Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Radostim-2009. Гумінові речовини та фітогормони в сільському господарстві», Дніпропетровськ, 16-18 лютого. – 2010. – С. 153-154.
5. Romanov V., Gribova V., Galelyuka I., Voronenko O. Multilevel sensor networks for precision farming and environmental monitoring. Information Technologies & Knowledge. Vol. 9, Number 1. Sofia, Bulgaria. 2015. P. 3–10.
6. Вороненко А.В., Романов В.А. Выбор унифицированных средств процессорной обработки данных на основе cortex-ядра для биосенсорных приборов // Комп'ютерні засоби, мережі та системи: зб. наук. пр. / К.: Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України. – 2013 (№12). – С. 44-101.
7. Груша В.М. Використання бездротової сенсорної мережі у дослідженнях методу індукції флуоресценції хлорофілу // Комп'ютерні засоби, мережі та системи: зб. наук. пр. / К.: Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України. – 2013 (№12). – С. 54-63.
8. Груша В.М. Обробка результатів експериментальних досліджень, проведених з використанням портативного флуорометра «Флоратест». Комп'ютерні засоби, мережі та системи. 2015. № 14. С. 109–116.
9. От моделей поведения к искусственному интеллекту / под ред. В. Г. Редько - М.: КомКнига, 2006. – 456 с.
10. Рагозин Д.В. Моделирование синхронизированных сенсорных сетей // Проблеми програмування. – 2008. – № 2-3. Спеціальний випуск – 721-729 с.
11. Романов В.О., Галелюка І.Б., Вороненко О.В., Груша В.М. Нова інформаційна технологія експрес-оцінювання стану рослин в умовах дії стресових факторів // Комп'ютерні засоби, мережі та системи: зб. наук. пр. / К.: Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України. – 2016 (№15). – С. 44-101.

Literatura

1. Ragozin D.V. Modelirovanie sinhronizirovannyih sensornyih setey // Problemi programuvannya. – 2008. – # 2-3. SpetsIalniy vipusk – 721-729 s.
2. IEC 61508:2010 Commented version, Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems. – Geneva: International Electrotechnical Commission. – 2010.
3. Romanov V., Artemenko D., Brayko Yu., Galelyuka I., Imamutdinova R., Kytayev O., Palagin O., Sarakhan Ye., Starodub M., Fedak V. Portable Biosensor: from Idea to Market. International Journal "Information Theories & Applications". Vol. 19, Number 2. Sofia, Bulgaria. 2012. P. 126–131.
4. Romanov V., Galelyuka I., Hrusha V., Sarakhan Ye. Biosensor for Express-Diagnostics of Plant States // ZbIrnik materIalIv mIzhnarodnoYi naukovo-praktichnoyi konferentsiyi «Radostim-2009. Guminovi rechovini ta fItogormoni v silskomu gospodarstvi», Dnipropetrovsk, 16-18 lyutogo. – 2010. – S. 153-154.
5. Romanov V., Gribova V., Galelyuka I., Voronenko O. Multilevel sensor networks for precision farming and environmental monitoring. Information Technologies & Knowledge. Vol. 9, Number 1. Sofia, Bulgaria. 2015. P. 3–10.
6. Voronenko A.V., Romanov V.A. Vyibor unifitsirovannyih sredstv protsessornoy obrabotki dannyih na osnove cortex-yadra dlya biosensornyih priborov // Komp'yuternI zasobi, merezhI ta sistemi: zb. nauk. pr. / K.: In-t kIbernetiki Im. V. M. Glushkova NAN UkraYini. – 2013 (#12). – C. 44-101.
7. Grusha V.M. Vikoristannya bezdrotovoyi sensornoyi merezhi u doslidzhennyah metodu induktsiyi fluorestsentsiyi hlorofIlu // Komp'yuterni zasobi, merezhi ta sistemi: zb. nauk. pr. / K.: In-t kibernetiki im. V.M. Glushkova NAN Ukrayini. – 2013 (#12). – C. 54-63.
8. Grusha V.M. Obrobka rezultativ eksperimentalnih doslidzhen, provedenih z vikoristannyam portativnogo fluorometra «Floratest». Komp'yuterni zasobi, merezhi ta sistemi. 2015. # 14. C. 109–116.
9. Ot modeley povedeniya k iskusstvennomu intellektu / pod red. V.G. Redko - M.: KomKniga, 2006. - 456s.
10. Ragozin D. V. Modelirovanie sinhronizirovannyih sensornyih setey // Problemi programuvannya. – 2008. – # 2-3. SpetsIalniy vipusk – 721-729 s.
11. Romanov V.O., Galelyuka I.B., Voronenko O.V., Grusha V.M. Nova Informatsiyna tehnologiya ekspres-otsinyuvannya stanu roslin v umovah diyi stresovih faktoriv // Komp'yuterni zasobi, merezhi ta sistemi: zb. nauk. pr. / K.: In-t kibernetiki im. V.M. Glushkova NAN Ukrayini. – 2016 (#15). – C. 44-101.

RESUME

V.O. Ostapenko

Methods of assessment of functional safety wireless sensor network of plant condition

The article reveals the current problem of evaluating the functional safety of wireless sensor networks for to monitor the state of plants. Using functional security methods allows to get quantitative indicators, that determine the levels of guarantee of data transfer for a limited time and protecting the transmitted information. In the article was showed the methods of evaluating functional safety in automated monitoring systems of the state of distributed objects of medical and ecological complexes, namely, the monitoring of the state of plants.

The urgency of the problem of evaluating hardware and software complexes in terms of functional security is the complexity of software and the need to use these complexes in field conditions.

In addition to the reliability and functional security of individual modules (sensors), the author solves the question of assessing the entire system in a complex, with an assessment of the impact on the functional safety indicators of algorithms for designing the topology, methods for processing the measurement results and their transmission to the network.

The concept of system compatibility in the plant monitoring system is disclosed by means of: information interoperability, standardization and unification of interfaces, multilevel systems for collecting, processing and storing data, data visualization and generating standard file formats, data protection during transmission and storage.

The article has a scientific and practical value. It reveals the task. The material of the article is elucidated not only for the specialist of the given direction, but also for the wide audience. This is achieved by using a large number of examples and statistics.

Надійшла до редакції 15.11.2017

